

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-198280

(43)Date of publication of application : 12.07.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/20

(21)Application number : 2000-392394

(71)Applicant : NIKON CORP

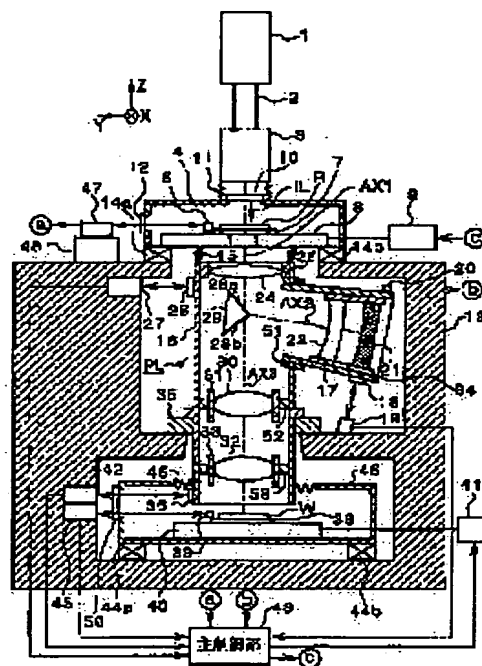
(22)Date of filing : 25.12.2000

(72)Inventor : SHIRAISHI NAOMASA

**(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR PROJECTION EXPOSURE AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain excellent exposure precision in the case that a catadioptric projection optical system having a plurality of partial lens-barrels having mutually intersecting optical axes is used.

**SOLUTION:** A reticle R is illuminated with an exposure light IL in a vacuum ultraviolet region, and an image of a pattern of the reticle R which is obtained by using an projection optical system PL is projected on a wafer W. The projection optical system PL is provided with lens groups 24, 30, 32 and a reflection mirror block 29 which are held in the partial lens-barrel 16, and a lens group 22 and a concave mirror 21 which are held in the partial lens-barrel 17. The partial lens-barrel 16 is retained with a main body frame 13, and the partial lens-barrel 17 is retained with the partial lens-barrel 16. Position fluctuation amount of the partial lens-barrel 17 to the main body frame 13 is measured by using a laser interferometer 19. Position deviation amount of a projected image of the reticle pattern is predicted on the basis of the measured value, and a position of the reticle R or the wafer W is adjusted so as to cancel the position deviation amount.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-198280  
(P2002-198280A)

(43) 公開日 平成14年7月12日 (2002.7.12)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テマコード <sup>*</sup> (参考) |
|---------------------------|-------|---------------|-------------------------|
| H 0 1 L 21/027            |       | G 0 3 F 7/20  | 5 2 1 5 F 0 4 6         |
| G 0 3 F 7/20              | 5 2 1 | H 0 1 L 21/30 | 5 1 6 A                 |
|                           |       |               | 5 1 7                   |

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-392394(P2000-392394)

(22) 出願日 平成12年12月25日 (2000.12.25)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 直正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

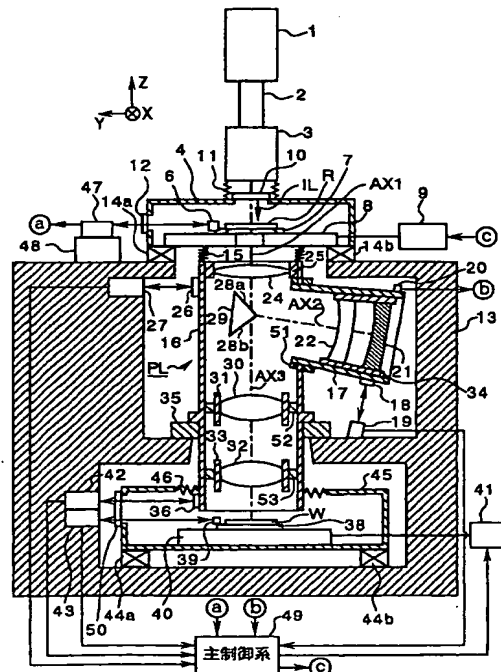
Fターム(参考) 5F046 CB02 CB12 CB17 CB20 DA12  
DB05

(54) 【発明の名称】 投影露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 互いに交差する光軸を持つ複数の部分鏡筒を有する反射屈折投影光学系を用いる場合に、良好な露光精度を得る。

【解決手段】 レチクルRを真空紫外域の露光光I Lで照明し、レチクルRのパターンの投影光学系P Lによる像をウエハW上に投影する。投影光学系P Lは、部分鏡筒16内に保持されているレンズ群24、30、32及び反射鏡ブロック29と、部分鏡筒17内に保持されているレンズ群22及び凹面鏡21とを備え、部分鏡筒16が本体フレーム13に支持され、部分鏡筒17が部分鏡筒16に支持されている。レーザ干渉計19によって本体フレーム13に対する部分鏡筒17の位置変動量を計測し、この計測値に基づいてレチクルパターンの投影像の位置ずれ量を予測し、この位置ずれ量を相殺するようにレチクルR又はウエハWの位置を調整する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒を有する反射屈折投影光学系を用いて、マスク上のパターンを基板上に転写する投影露光方法であって、

前記複数の部分鏡筒のうちの少なくとも 1 つの部分鏡筒の変位量を計測し、

該計測で得られる変位情報に基づいて、前記マスクのパターンの前記反射屈折投影光学系による像と前記基板との位置関係を所定の状態に維持するために、前記マスク及び前記基板の少なくとも一方の位置を調整することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 2】 前記複数の部分鏡筒は、前記マスク側から前記基板側に伸びる第 1 光軸を持つ第 1 部分鏡筒と、前記第 1 光軸に交差する第 2 光軸を持つ第 2 部分鏡筒とを含み、

前記計測対象の部分鏡筒は前記第 2 部分鏡筒であり、前記第 1 部分鏡筒に対する前記第 2 部分鏡筒の変位量を計測することを特徴とする請求項 1 に記載の投影露光方法。

【請求項 3】 前記計測対象の部分鏡筒は、前記複数の部分鏡筒のうちの前記マスク及び前記基板から離れた位置にある部分鏡筒であるとともに、

前記計測対象の部分鏡筒は、反射鏡とレンズとを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の投影露光方法。

【請求項 4】 互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒を有する反射屈折投影光学系を用いて、マスク上のパターンを基板上に転写する投影露光装置であって、

前記複数の部分鏡筒群のうちの少なくとも 1 つの部分鏡筒の変位量を計測する計測装置と、

前記計測装置によって計測される変位情報に基づいて、前記マスク及び前記基板の少なくとも一方の位置を調整するステージ装置とを有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 5】 前記計測装置は、レーザ干渉計を有することを特徴とする請求項 4 に記載の投影露光装置。

【請求項 6】 前記計測装置は、加速度センサと、該加速度センサが計測した加速度情報より、計測対象の部分鏡筒の変位量を算出する演算装置とを有することを特徴とする請求項 4 に記載の投影露光装置。

【請求項 7】 前記計測対象の部分鏡筒は、前記複数の部分鏡筒群のうちの前記マスク及び前記基板から離れた位置にある部分鏡筒であるとともに、

前記計測対象の部分鏡筒は、反射鏡とレンズとを含むことを特徴とする請求項 4、5、又は 6 に記載の投影露光装置。

【請求項 8】 前記投影光学系は、露光ビームを反射する 2 面の反射鏡を有し、

該 2 面の反射鏡が 1 つの保持ブロックに一体的に保持さ

れていることを特徴とする請求項 4～7 の何れか一項に記載の投影露光装置。

【請求項 9】 請求項 1、2、又は 3 に記載の投影露光方法を用いてデバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD 等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等の各種デバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程中で、マスクパターンを感光基板上に転写するために使用される投影露光方法及び装置に関し、特に反射屈折系よりなる投影光学系を用いる場合に使用して好適なものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体集積回路、液晶ディスプレイ等の電子デバイスの微細パターンを形成するためのフォトリソグラフィ工程では、形成すべきパターンを 4～5 倍程度に比例拡大して描画したマスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンを、一括露光方式又は走査露光方式の投影露光装置を用いて被露光基板としてのウエハ（又はガラスプレート等）上に縮小転写する方法が用いられている。

【0003】その微細パターンの転写に使用される投影露光装置においては、半導体集積回路の微細化に対応するために、その露光波長がより短波長側にシフトして来ている。現在、その露光波長は KrF エキシマレーザの 248 nm が主流となっているが、より短波長の実質的に真空紫外域（VUV: Vacuum Ultraviolet）とみなすことができる ArF エキシマレーザの 193 nm も実用化段階に入りつつある。そして、更に短い波長 157 nm の F<sub>2</sub> レーザや、波長 126 nm の Ar<sub>2</sub> レーザ等の真空紫外域の露光光源を使用する投影露光装置の提案も行なわれている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】これらの真空紫外域の波長の光束は、通常の光学ガラスでは透過率が低く、屈折部材（レンズ等）、及びレチクルとして使用可能な光学材料は、蛍石、フッ化マグネシウム、及びフッ化リチウム等のフッ化物結晶や所定の不純物がドーパされた石英ガラスなどに限定される。しかしながら、投影露光装置に備えられている投影光学系に要求されるような、高度な均一性や高い透過率を有する光学材料は、現状では実質的に蛍石のみに限定される。投影光学系を屈折系より構成する場合に、そのように一種類の光学材料のみを用いて投影光学系の色収差を良好に補正するためには、露光光としてのレーザ光の波長幅を極端に狭帯化する必要がある。

【0005】ところが、真空紫外域のように短波長のレーザ光源は発振効率が低く、その発振効率を更に下げて

しまう極端な狭帯化はレーザー出力の低下を招き、ウエハ上の露光強度を大幅に低下させ、露光装置のスループット（処理能力）を大幅に低下させてしまう。そこで、レーザー出力を実用的なスループットが得られるレベルに維持して、かつ色収差を良好に補正するために、投影光学系を反射屈折系で構成することが考えられる。

【0006】しかしながら、反射屈折光学系を採用する場合には、反射鏡への入射光と反射光との分離を単純な構造で行うのが本質的に困難であり、その分離のために鏡筒構造が複雑化してしまう。そのため、従来の屈折光学系よりなる投影光学系で採用されていた、1本の光軸に沿ってレンズを配置する直筒型の構成を、反射屈折系よりなる投影光学系で採用することが困難となる。即ち、反射屈折系の鏡筒構造は、複数の部分鏡筒がそれぞれ独自の光軸を持って配置される複雑な構造となる。このような複雑な鏡筒構造では、従来の直筒型の鏡筒構造に比べて多くの固有振動モードが生じ、機械的に不安定な構造とならざるを得ない。

【0007】また、例えばレチクルステージやウエハステージの移動に伴う振動に起因して、そのような鏡筒の振動又は変位が発生すると、ウエハ上でのレチクルパターンの投影像の位置が上記振動又は変位に合わせてシフトして、像の転写精度が劣化してしまう恐れがある。このような真空紫外域の光を露光光とする投影露光装置が露光するパターンは、数十nmの線幅の微細パターンであるため、そのような鏡筒の振動に起因するパターン転写像のシフト量は数nm程度の量となるが、この程度のシフト量であっても、解像度、転写忠実度、及び重ね合わせ精度等の露光精度に与える影響はかなり大きく、何らかの対策が必要となる。

【0008】本発明は斯かる点に鑑み、複数の部分鏡筒を有する反射屈折光学系よりなる投影光学系（反射屈折投影光学系）を用いる場合に、良好な露光精度が得られる露光技術を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光方法は、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒（16、17）を有する反射屈折投影光学系（PL）を用いて、マスク（R）上のパターンを基板（W）上に転写する投影露光方法であって、その複数の部分鏡筒のうちの少なくとも1つの部分鏡筒（17）の変位量を計測し、この計測で得られる変位情報に基づいて、そのマスクのパターンのその反射屈折投影光学系による像とその基板との位置関係を所定の状態に維持するために、そのマスク及びその基板の少なくとも一方の位置を調整するものである。

【0010】斯かる本発明によれば、その複数の部分鏡筒の内例えば振動し易い部分鏡筒の変位量が計測され、この変位量に基づいて計算により、又は実験的に求め求めてある関係により、マスクパターンの投影像の位

置ずれ量が予測される。そして、その予測される位置ずれ量を相殺するように、マスク若しくは基板（又は両方）の位置を調整することで、良好な露光精度（解像度、転写忠実度、重ね合わせ精度等）が得られる。

【0011】この場合、その複数の部分鏡筒は、そのマスク側からその基板側に伸びる第1光軸（AX1、AX3）を持つ第1部分鏡筒（16）と、その第1光軸に交差する第2光軸（AX2）を持つ第2部分鏡筒（17）とを含むものとする、その計測対象の部分鏡筒をその第2部分鏡筒（17）として、その第1部分鏡筒に対するその第2部分鏡筒の変位量を計測することが望ましい。このような構成では、その第2部分鏡筒は例えば鉛直方向に対して斜めに配置されて振動し易くなるため、その第2部分鏡筒のその第1部分鏡筒に対する相対変位量を計測して、その結果に応じてマスク又は基板の位置を調整することで、少ない計測点で良好な露光精度が得られる。

【0012】但し、計測対象の部分鏡筒の変位量を、加速度センサ等を用いて計測する、即ち計測対象の部分鏡筒自体のそれまでの位置を基準として計測することも可能である。また、その計測対象の部分鏡筒を、その複数の部分鏡筒のうちのそのマスク及びその基板から離れた位置にある部分鏡筒として、その計測対象の部分鏡筒が、反射鏡とレンズとを含んでいることが望ましい。そのマスク及び基板から離れた位置にある部分鏡筒の変位の影響は大きいとともに、反射鏡を含むことによってその変位の影響は更に大きくなるため、その部分鏡筒の変位量を計測することで、高い露光精度が得られる。

【0013】次に、本発明の投影露光装置は、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒（16、17）を有する反射屈折投影光学系（PL）を用いて、マスク（R）上のパターンを基板（W）上に転写する投影露光装置であって、その複数の部分鏡筒群のうちの少なくとも1つの部分鏡筒（17）の変位量を計測する計測装置と、その計測装置によって計測される変位情報に基づいて、そのマスク及びその基板の少なくとも一方の位置を調整するステージ装置（7、38）とを有するものである。

【0014】斯かる発明によって本発明の露光方法を実施することができる。この場合、一例として、その計測装置はレーザー干渉計（18、19）を有するものである。また、別の例として、その計測装置は、加速度センサ（20）と、この加速度センサが計測した加速度情報より、計測対象の部分鏡筒の変位量を算出する演算装置（49）とを有するものである。

【0015】また、その投影光学系は、一例として露光ビームを反射する2面の反射鏡（28a、28b）を有し、この2面の反射鏡が1つの保持ブロック（29）に一体的に保持されているものである。このように2面の反射鏡を一体的に保持することで、振動の影響が少なく

なる。また、本発明のデバイス製造方法は、本発明の投影露光方法を用いてデバイスパターンをワークピース

(W)上に転写する工程を含むものである。本発明によって、例えば真空紫外光を露光ビームとして用いた場合でも、極端な波長幅の狭帯化を行うことなく高い露光精度が得られるため、露光強度を高く維持して高いスループットで、微細なパターンのデバイスを量産することができる。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光ビームとして真空紫外光(VUV光)を用いるとともに、反射屈折系よりなる投影光学系を備えた投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものである。

【0017】図1は、本例の投影露光装置を示す概略構成図であり、この図1において、露光光源1としては、真空紫外域の発振波長157nmのF<sub>2</sub>レーザ(フッ素レーザ)が使用されている。それ以外に露光光源として、発振波長146nmのKr<sub>2</sub>レーザ(クリプトンダイマーレーザ)、発振波長126nmのAr<sub>2</sub>レーザ(アルゴンダイマーレーザ)、発振波長193nmのArFエキシマレーザ、YAGレーザの高調波発生装置、又は半導体レーザの高調波発生装置等の実質的に真空紫外域の光源を使用する場合にも本発明は有効である。また、本発明は、KrFエキシマレーザ(波長248nm)のように波長が200nm以上の露光光を使用する場合であっても、投影光学系の構造が反射屈折系のように複雑であるときには適用することができる。

【0018】露光光源1から射出された露光ビームとしての露光光ILは、ビームマッチングユニット(BMU)2、照明光学系3、及び窓部材10を介してマスクとしてのレチクルRのパターン面(下面)を照明する。照明光学系3は、オブティカル・インテグレータ、照明系の開口絞り(σ絞り)、リレーレンズ系、視野絞り、及びコンデンサレンズ系等を備えている。ビームマッチングユニット2及び照明光学系3はそれぞれ気密性の高いサブチャンバ(不図示)内に収納されている。

【0019】レチクルRを透過した露光光ILは、本例の反射屈折系よりなる投影光学系PLを介して、被露光基板としてのウエハ(wafer)W上にそのレチクルRのパターンの像を形成する。ウエハWは例えば半導体(シリコン等)又はSOI(silicon on insulator)等の円板状の基板であり、その上にフォトリソ(感光材料)が塗布されている。本例の投影光学系PLは、第1の光軸AX1を光軸とする第1のレンズ群24と、その表面に2面の平面反射鏡(反射面)28a、28bが形成された反射鏡ブロック29と、その第1の光軸AX1に対して交差する第2の光軸AX2を光軸とするレンズ群22及び凹面鏡21と、第3の光軸AX3を光軸とする第2のレンズ群30及び第3のレンズ群32とを備えてい

る。

【0020】そして、レチクルRからの結像光束は、第1のレンズ群24を透過した後、反射鏡28aで反射して、レンズ群22を透過して凹面鏡21に至り、ここで反射して再びレンズ群22を透過して反射鏡28bに至る。反射鏡28bで反射された結像光束は、続いて第2のレンズ群30及び第3のレンズ群32を透過して、ウエハW上にレチクルW上のパターンの投影像を形成する。投影光学系PLのレチクルからウエハへの結像倍率は例えば1/4~1/5倍程度の縮小倍率であり、投影光学系PLの内部も気密化されている。

【0021】投影光学系PLにおいて、第1のレンズ群24と、反射鏡ブロック29と、第2のレンズ群30と、第3のレンズ群32とは、共通に第1の部分鏡筒16によって保持されている。本例では、第1のレンズ群24の光軸AX1はレチクルRのパターン面(レチクル面)に垂直で、第2のレンズ群30及び第3のレンズ群32の光軸AX3はウエハWの露光面(ウエハ面)に垂直であり、光軸AX1と光軸AX3とは同一軸となっている。そして、ウエハ面はほぼ水平面であり、光軸AX1及びAX3は鉛直方向に延びている。但し、両者の光軸AX1及びAX3は、必ずしも同一の軸である必要はない。また、第1のレンズ群24は保持機構25により部分鏡筒16に保持され、第2のレンズ群30は保持機構31及び位置調整機構52を介して、第3のレンズ群32は保持機構33及び位置調整機構53を介してそれぞれ部分鏡筒16に保持されている。

【0022】一方、第2の光軸AX2を光軸とするレンズ群22及び凹面鏡21は、保持機構34を介して第2の部分鏡筒17に保持されており、第2の部分鏡筒17は、第1の部分鏡筒16に対して連結部材51によって機械的に結合されている。そして、第1の部分鏡筒16に設けられたフランジ部が、マウント部35を介して本体フレーム13(後述)に設けられた開口を通して設置されている。即ち、投影光学系PLは全体として本体フレーム13によって支持されており、投影光学系PL中では第1の部分鏡筒16によって第2の部分鏡筒17が支持されている。以下、投影光学系PL中の第1のレンズ群22の光軸AX1に平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に垂直にX軸を、図1の紙面に平行にY軸を取って説明する。

【0023】先ず、本例のレチクルRのパターンをウエハW上に転写する露光本体部は、全体として箱型の本体フレーム13内に支持されている。そして、レチクルRは、レチクルベース8上でY方向に走査可能に載置されたレチクルステージ7上に保持され、レチクルステージ7の2次元的な位置は、レチクルステージ7上の移動鏡6(実際にはX軸用、Y軸用の2軸分がある。以下同様。)、及びこれに対応して本体フレーム13上の台座48上に配置されたレーザ干渉計47によって計測さ

れ、この計測値が装置全体の動作を制御する主制御系49に供給され、その計測値及び主制御系49からの制御情報に基づいてレチクルステージ制御系9がレチクルステージ7の位置及び速度を制御する。レチクルベース8、レチクルステージ7、及びこの駆動機構（不図示）等からレチクルステージ系が構成され、レチクルベース8は、能動型除振機構14a、14b（実際には例えば3箇所に配置されている）を介して本体フレーム13上に支持されている。そして、レチクルステージ系は、気密室としてのレチクルステージ室4内に収納され、レーザ干渉計47と移動鏡4との間を計測用のレーザビームが往復できるように、レチクルステージ室4の側壁に透過窓12が設けてある。

【0024】能動型除振機構14a、14bは、エアダンパと電磁式のアクチュエータ（ボイスコイルモータ等）とを組み合わせ構成されており、エアダンパによって高周波数の振動を遮断し、アクチュエータから低周波数の振動を相殺するための振動を発生させて、広い周波数域の振動の伝達を阻止する機構である。能動型除振機構14a、14bによって、レチクルステージ7の走査により生じる振動が本体フレーム13に伝達することが防止される。

【0025】更に、レチクルステージ7の走査に伴う振動が、投影光学系PLや照明光学系3に伝達するのを防止しつつ、露光光の光路の気密性を高めるために、レチクルステージ室4と投影光学系PLの上部とは、ガス透過性の低いフィルム素材等で形成された（即ち、振動を伝達しない）可撓性を有する被覆部材15で接続され、レチクルステージ室4と照明光学系3とは、被覆部材15と同様の被覆部材11によって接続されている。これによって、防振性と気密性とを両立させることができる。なお、照明光学系3とレチクルRとの間のレチクルステージ室4には露光光ILを透過させる窓部10が設置されている。

【0026】一方、ウエハWは、不図示のウエハホルダを介してウエハステージ（Zレベリングステージ）38上に保持され、ウエハステージ38はウエハベース40上にY方向に走査可能に、かつX方向、Y方向にステップ移動可能に載置されている。ウエハステージ38の2次元的位置は、ウエハステージ38上の移動鏡38、及びこれに対応して本体フレーム13内に配置されたレーザ干渉計43によって計測されており、この計測値が主制御系49に供給され、この計測値及び主制御系16からの制御情報に基づいて、ウエハステージ制御系41がウエハステージ38のX方向、Y方向の位置及び速度を制御する。また、ウエハステージ38は、不図示のオートフォーカスセンサ（斜入射方式で光学式のセンサ）からのウエハWの表面の複数の計測点でのフォーカス位置（Z方向の位置）の情報に基づいて、露光中にウエハWの表面が投影光学系PLの像面に合焦されるように、

サーボ方式でウエハWのフォーカス位置及びX軸、Y軸の回りの傾斜角を制御する。

【0027】ウエハベース40、ウエハステージ38、及びこの駆動機構（不図示）等からウエハステージ系が構成され、ウエハステージ系は、気密室としてのウエハステージ室45内に収納されている。レーザ干渉計43と移動鏡39との間を計測用のレーザビームが往復できるように、ウエハステージ室45の側壁に透過窓50が設けてある。このウエハステージ38の走査に際しても、その走査のための加速度によって振動が発生するが、その振動が本体フレーム13に伝達されるのを防止するために、ウエハステージ室45は、能動型除振機構44a、44b（実際には例えば3箇所に配置されている）を介して本体フレーム13の底部上に設置されている。また、ウエハステージ38の振動の投影光学系PLへの伝達を防止しつつ、ウエハステージ室45と投影光学系PLとの間の気密性を確保するために、レチクルステージ室4の場合と同様に、ウエハステージ室45の上部と投影光学系PLの下端部との間は、ガス透過性の低いフィルム素材等で形成された（即ち、振動を伝達しない）可撓性を有する被覆部材46で接続されている。

【0028】また、投影光学系PLの上端側面及び下端側面にそれぞれ固定鏡26及び36（実際にはそれぞれX軸用、Y軸用の2軸分がある）が取り付けられ、固定鏡26及び36の位置がそれぞれ本体フレーム13内に設置されたレーザ干渉計27及び42によって計測され、この計測値が主制御系49に供給されている。固定鏡26及び36の位置、即ち投影光学系PLの位置に応じて後述のようにそれぞれレチクルステージ7及びウエハステージ38の位置が補正される。

【0029】更に、本例の露光光ILは真空紫外光であるため、露光光源1からウエハWまでの露光光ILの光路からは、真空紫外光に対する吸収の強い吸収性ガス（酸素、水蒸気、二酸化炭素、及び有機ガス等）を排除し、代わりに露光光ILを透過する気体、即ち露光光ILに対する透過率の高い気体（以下、「パージガス」と言う。）でその光路を置換する必要がある。そのパージガスとしては、例えば窒素若しくは希ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン）、又はこれらの混合気体を使用できる。希ガスの中で、ヘリウムは熱伝導率が高く温度安定性に優れ、気圧の変化に対する屈折率の変動量が小さいため、結像特性の安定性等を重視する場合にはパージガスとしてはヘリウムが好ましい。但し、運転コストを低く抑えたいような用途では、パージガスとして窒素を使用してもよい。

【0030】そこで、本例では、ビームマッチングユニット2と照明光学系3とが収納されているサブチャンバ、レチクルステージ室4、投影光学系PL、及びウエハステージ室45よりなる各気密室の内部の気体はそのパージガスによって置換されている。そのパージガスに

よる置換は、一例として、各気密室の隔壁の一部に排気管及び給気管を接続し、給気管よりそのパージガスを供給し、排気管より内部の気体を流出させるようにしたフロー制御で行なうことができる。また、更に積極的には、所定の気密室の内部を一度減圧して、そこにパージガスを再充填することでもパージガス置換が可能である。

【0031】露光時には、レチクルRのパターンの像を投影光学系PLを介してウエハW上の一つのショット領域に投影した状態で、レチクルRとウエハWとを投影光学系PLの結像倍率を速度比としてY方向に同期移動する動作と、ウエハWをステップ移動する動作とがステップ・アンド・スキャン方式で繰り返されて、ウエハW上の各ショット領域にレチクルRのパターンの像が転写される。このように本例の投影露光装置は走査露光方式であるが、本発明はステッパー等の一括露光型の投影露光装置にも有効であることは言うまでもない。

【0032】ここで、本例の投影光学系PLのレンズ構成の一例につき図2を参照して説明する。図2は、図1中の投影光学系PLの詳細な構成を示す断面図であり、この図2において、一例として第1の部分鏡筒16中の第1のレンズ群24は、1枚のレンズ24aより構成され、第2のレンズ群30はレンズ30a～30eより構成され、第3のレンズ群32はレンズ32a～32eより構成され、第2の部分鏡筒17中のレンズ群22はレンズ22a、22bより構成されている。そして、レンズ30a～30eは共通の保持機構31内に保持され、保持機構31が複数箇所の位置調整機構52を介して部分鏡筒16内に保持されており、レンズ32a～32eは共通の保持機構33内に保持され、保持機構33が複数箇所の位置調整機構53を介して部分鏡筒16内に保持されている。なお、図2のような反射屈折系よりなる投影光学系の具体的な構成例は、例えば特開2000-47114に開示されている。

【0033】図1に戻り、上述のように投影光学系PLが保持される本体フレーム13は、レチクルステージ7やウエハステージ38といった可動部材（振動源）からは、振動が伝わらないように一応隔離されているが、それでもなお、或る程度の振動が伝わって、投影光学系PLを振動させることは避けられない。特に本例で 사용되는ような、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒16、17からなる反射屈折系の投影光学系PLのような複雑な形状の投影光学系の場合は、その固有振動モードも多数存在し、わずかの外力によって光学系が容易に振動してしまう恐れがある。

【0034】例えば、本例の投影光学系PLでは、第2の部分鏡筒17は、第1の部分鏡筒16に固定されているものの、その連結部分を中心とする回転振動のような振動が生じやすいことは否めない。このような振動が生じた場合、その振動の周期が、ウエハW上の1点の所

定の露光時間（像の転写時間）、例えば100msec程度より長い場合には、その振動によって像位置がずれる問題が発生する。また、その振動の周期が、その露光時間より短い場合には、振動によって像のシャープさが低下するという問題が生じることになる。

【0035】本例では、このような第2の部分鏡筒17等の部分鏡筒の振動による投影像の変位により生じる問題を、以下の方法で解決している。即ち、第2の部分鏡筒17の凹面鏡21に近い領域の外面に固定鏡18が設けられ、これに対向するように本体フレーム13にはレーザ干渉計19が設けられており、このレーザ干渉計19により、第2の部分鏡筒17上の固定鏡18までの距離の変化、即ち部分鏡筒17の凹面鏡21に近い位置でのほぼZ方向への変位量を計測し、この計測値を主制御系49に供給している。これにより、本体フレーム13（ひいては第1の部分鏡筒16）に対する第2の部分鏡筒17の位置変動量、即ち振動量が計測される。第2の部分鏡筒17の位置変動量とレチクルパターンの投影像の変位量との関係は、主制御系49内の演算部における設計データに基づく計算、又は事前の実験で求められているテーブル（又は近似式等）により決定できる。

【0036】そこで、主制御系49では、レーザ干渉計19によって計測された第2の部分鏡筒17の位置変動量（変位量）より、ウエハW上でのレチクルパターンの投影像の理想的な位置からのずれ量を算出する。算出された位置ずれ量は、レチクルステージ制御系9又はウエハステージ制御系41に送られ、この位置ずれ量を相殺する方向に、レチクルステージ7又はウエハステージ38の位置制御が行われた状態で、露光が行なわれる。これにより、第2の部分鏡筒17の振動が、レチクルパターン投影像の位置ずれとなって、転写像の結像特性や露光精度（転写忠実度や重ね合わせ精度等）を劣化させることを防止できる。なお、その位置ずれ量を補正するために、レチクルステージ7及びウエハステージ38の両方を駆動してもよい。

【0037】なお、上記補正は、いわゆる振動だけに適用されるものではなく、ウエハステージ38やレチクルステージ7の移動によって生じる本体フレーム13の変形のような構成部材の変形についても、これを計測して補正しても良いことは勿論である。また、上記の実施の形態では、第2の部分鏡筒17の振動（位置変動）の計測は、レーザ干渉計19によって行なうものとしたが、この代わりに、第2の部分鏡筒17に加速度センサ20を取り付けて、加速度センサ20によって部分鏡筒17の加速度を計測しても良い。この場合にもその計測値を主制御系49に供給する。そして、主制御系49内の演算部でその加速度を2回積分して、その積分値の変動量を求めることで、部分鏡筒17の位置変動量を求めることができる。その加速度の積分は、主制御系49中で行うのではなく、加速度センサ20の近傍に設けた処理ユ



ニット（不図示）で行なうことも可能である。

【0038】なお、従来型の一本の光軸上にレンズ群が配置された直筒型の投影光学系を使用する投影露光装置においても、その光軸に沿った投影光学系の上端（レチクル近傍）や下端（ウエハ近傍）に、投影光学系の位置を計測するための固定鏡を設け、その位置をレーザ干渉計によって計測して、投影光学系の振動や位置変動に起因する投影像の位置ずれを補正する方法は採用されている。そこで、本例においても、これと同様に、投影光学系 PL 中の第 1 の部分鏡筒 16 のレチクル R 側やウエハ W 側の近傍に、それぞれ固定鏡 26、36 が設置され、その位置が本体フレーム 13 に設置されたレーザ干渉計 27、42 で計測されている。これらのレーザ干渉計 27、42 によって計測される第 1 の部分鏡筒 16 の振動や位置ずれ量に伴うレチクルパターンの投影像の位置ずれ量も、レチクルステージ 7 やウエハステージ 38 の移動によって補正可能であることは言うまでもない。

【0039】また、以上のように部分鏡筒の変位量を計測して投影像の位置ずれ量を予測（算出）する場合には、部分鏡筒の変位量と投影像の位置ずれ量との関係が予め判明している必要がある。この関係は、光学設計データ及び機械設計データから、理論的に算出することができるため、この理論値に従ってレチクル若しくはウエハ、又は両方の位置を補正することができる。

【0040】また、予め実験により、部分鏡筒の変位量と投影像の位置ずれ量との関係を計測しておき、この計測結果をテーブル、又は近似式の形で記憶しておくことも可能である。例えばウエハの配置される位置（像面）に、撮像素子やナイフエッジセンサ等の位置計測可能なセンサを配置し、このセンサ上にレチクルパターンの投影像を投影した状態で、投影光学系中の計測対象の部分鏡筒を所定量ずつ変位させて、そのセンサによってその投影像の位置ずれを計測することで、その部分鏡筒の変位量と投影像の位置ずれ量との関係を実験的に求めることができる。この場合に、その部分鏡筒の変位は、オペレータによる手動、又は所定の重り載せる等の方法で生じさせることができる。

【0041】なお、以上の実施の形態においては、第 1 のレンズ群 24、第 2 のレンズ群 30、及び第 3 のレンズ群 32 は、同一の部分鏡筒 16 により保持されるものとしたが、それ以外の構成として、例えば各レンズ群 24、30、32 がそれぞれ別の部分鏡筒に保持されていても構わない。また、その場合には、それぞれの個別の部分鏡筒の変位量、例えば本体フレーム 13 に対する相対変位量を計測する計測装置（レーザ干渉計、ギャップセンサ、加速度センサ等）を設置することが望ましい。

【0042】また、上記の実施の形態では、2 面の反射鏡 28a、28b は、1 つの部材（反射鏡ブロック 29）上に一体的に形成されるものとしたが、2 枚の反射鏡 28a、28b が別々の部材上に形成されていても構

わない。但し、2 面の反射鏡 28a、28b が一体的に形成されていた方が、調整が容易であるとともに安定性の点でも有利であることは勿論である。

【0043】また、上記の実施の形態では、位置計測を行なう第 2 の部分鏡筒 17 には、レンズと反射鏡とを含むものとしたが、反射鏡のみを含む部分鏡筒や、レンズのみを含む部分鏡筒の位置を計測して、その結果に基づいてレチクルステージ 7 やウエハステージ 38 の位置補正を行うことも当然に可能である。また、上記の実施の形態の投影光学系 PL は、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ 2 つの部分鏡筒を備えているが、それ以外に、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ 3 つ以上の部分鏡筒を有する投影光学系にも本発明を適用することがきる。この場合には、例えば所定の基準位置（例えばウエハに最も近い部分鏡筒）を基準にして、それ以外の各部分鏡筒の位置を計測し、計測される位置ずれ量から、それに伴うウエハ上での投影像の位置ずれを予測（算出）して、レチクル若しくはウエハの位置、又は両方の位置を補正すればよい。また、複数の部分鏡筒の内、投影像の位置ずれ量に最も大きな影響を与える部分鏡筒の位置のみを計測するようにしてもよい。

【0044】また、本発明は、投影光学系として、例えば特願 2000-59268 に開示されているように、レチクルからウエハに向かう光軸を持つ光学系と、その光軸に対してほぼ直交する光軸を持つ反射屈折光学系とを有し、内部で中間像を 2 回形成する反射屈折投影光学系を用いる場合にも適用することができる。更に、計測対象の部分鏡筒の計測方向は、上記の実施の形態のように 1 次元方向（ほぼ Z 方向）に限られるものではなく、上記の実施の形態の X 方向も含めた 2 次元方向、更には X 方向、Y 方向も含めた 3 次元方向について位置計測を行い、その計測結果からウエハ上での投影像の位置ずれを予測（算出）して、レチクル若しくはウエハの位置、又は両方の位置を補正してもよい。この場合、レチクル位置又はウエハ位置の補正も、1 次元方向に限定されず、それぞれ 2 次元方向に位置補正することができる。また、例えばレチクル又はウエハのフォーカス方向（ウエハ面又はレチクルのパターン面に垂直な方向）の位置補正を行うようにしてもよい。

【0045】更に、計測対象の部分鏡筒の位置を計測する代わりに、又はその位置計測とともに、例えばその部分鏡筒の傾斜角の変動量、若しくはその部分鏡筒の歪量などを計測するようにしてもよい。なお、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に半導体デバイスを製造する場合、この半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、上記の実施の形態の投影露光装置によりアライメントを行ってレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダ

イシグ工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む)、検査ステップ等を経て製造される。

【0046】また、本発明の露光装置の用途としては半導体デバイス製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子(CCD等)、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク(フォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程(露光装置)にも適用することができる。

【0047】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0048】

【発明の効果】本発明によれば、互いに異なる方向に伸びる光軸を持つ複数の部分鏡筒を有する反射屈折投影光学系を使用して露光を行う場合に、そのように複雑な形

状の反射屈折光学系に特有の振動による像の劣化を抑えることができる。これによって、従来は実現が困難であった真空紫外域の光を露光ビームとする投影露光装置の実現が可能となり、その結果として、従来より大幅に解像度の向上した投影露光装置の実現が可能となった。

【図面の簡単な説明】

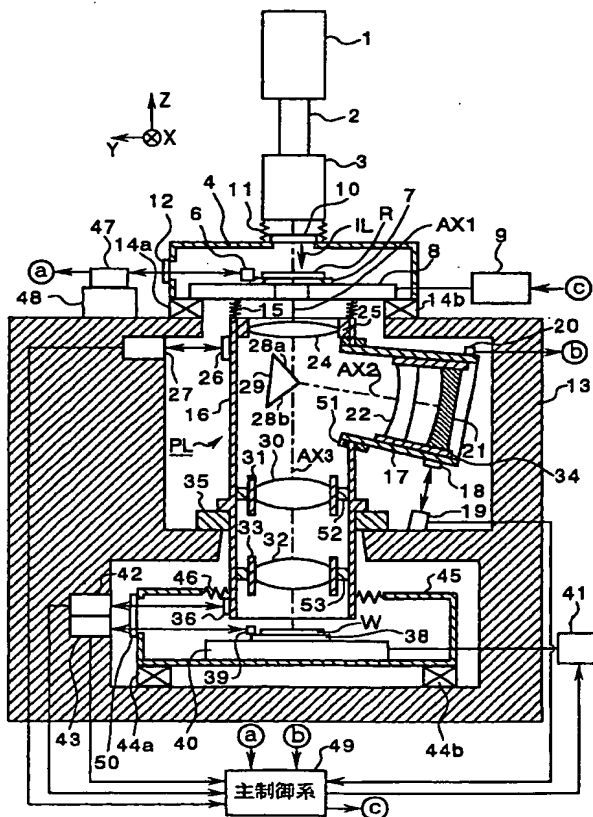
【図1】 本発明の実施の形態の一例の投影露光装置を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図2】 図1中の投影光学系PLの具体的なレンズ構成の一例を示す断面図である。

【符号の説明】

1…露光光源、R…レチクル、PL…反射屈折系よりなる投影光学系、W…ウエハ、7…レチクルステージ、13…本体フレーム、16…第1の部分鏡筒、17…第2の部分鏡筒、18…固定鏡、19…レーザ干渉計、20…加速度センサ、21…凹面鏡、22…レンズ群、24…第1のレンズ群、28a、28b…反射鏡、29…反射鏡ブロック、30…第2のレンズ群、32…第3のレンズ群、38…ウエハステージ、49…主制御系

【図1】



【図2】

